

**CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS MEDIANTE
MICROENCAPSULACIÓN POR EMULSIFICACIÓN**

TITULO A OBTENER: INGENIERO DE ALIMENTOS

AUTOR: JOE LOUIS ARROYO LOBO

DIRECTOR: M.Sc. GABRIEL IGNACIO VELEZ HERNANDEZ

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

BERÁSTEGUI- CÓRDOBA

2015

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios que todo le debo, mis padres por su amor y esfuerzo para darme la mejor educación y mis abuelos, especialmente a mi querida Abuela Q.E.P.D que me dio toda su ayuda y comprensión, este logro también es para ella, agradecer con todo mi corazón a mi hermana, tíos, primos, y familiares cercanos por brindarme siempre un apoyo incondicional.

Al master el ingeniero Gabriel Vélez Hernández por haberme ayudado en esta etapa de mi carrera, por su compromiso, responsabilidad y darme la mano en este momento de mi vida además de mostrar el interés en todo el proceso de elaboración de este trabajo.

A la señora Lidis, por su ayuda y por la comprensión que me tuvo.

A mis amigos de universidad, y a todos los que han compartido conmigo tantas experiencias para ser de mí una mejor persona.

A todos muchas gracias por permitirme compartir este gran logro con ustedes que es el epílogo de una meta anhelada donde se abre un nuevo capítulo en mi vida profesional.

RESPONSABILIDAD DE AUTORES

El jurado calificador de esta revisión bibliográfica no será responsable de las ideas emitidas por los autores. Artículo 46 del Acuerdo 006 de Mayo de 1979, Consejo Directivo.

TABLA DE CONTENIDO

	PAG
1. INTRODUCCION	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
3. DESARROLLO DEL TEMA	14
3.1 GENERALIDADES DE LAS EMULSIONES	14
3.1.1 Formación de emulsiones	15
3.1.2 Surfactantes	17
3.1.3 Estabilidad de las emulsiones	17
3.2 GENERALIDADES DE LA MICROENCAPSULACION	19
3.2.1 Materiales de encapsulación	22
3.2.1.1 Lípidos	23
3.2.1.2 Alginato	24
3.2.1.3 Quitosano	24
3.2.1.4 Carbohidratos	25
3.2.1.4.1 Almidones	25
3.2.1.4.2 Maltodextrinas	26
3.2.1.4.3 Gomas	26
3.2.1.5 Proteínas	26
3.2.1.5.1 Proteínas de suero lácteo	27

3.2.2	Ventajas y desventajas de la microencapsulacion	27
3.2.3	Técnicas utilizadas en la microencapsulacion de alimentos	28
3.2.3.1	Procesos químicos	30
3.2.3.1.1	Coacervación	30
3.2.3.1.2	Co-Cristalización	31
3.2.3.1.3	Polimerización interfacial	31
3.2.3.1.4	Gelificación iónica	32
3.2.3.1.5	Incompatibilidad polimérica	32
3.2.3.1.6	Liposomas	33
3.2.3.1.7	Inclusión molecular	33
3.2.3.2	Procesos físicos o mecánicos	34
3.2.3.2.1	Secado por aspersión	34
3.2.3.2.2	Aspersión por congelación o enfriamiento	35
3.2.3.2.3	Extrusión	35
3.2.4	Métodos para controlar la liberación de las microcápsulas	37
3.3	TECNICA DE MICROENCAPSULACION POR EMULSIFICACION	38
3.3.1	Estudios sobre la aplicación en la conservación de alimentos	40
3.3.1.1	Aceites	40
3.3.1.2	Probióticos	43
3.3.1.2.1	Estudios de probióticos en alimentos	47
3.3.1.2.1.1	Quesos	47
3.3.1.2.1.2	Yogurt	49

3.3.1.2.1.3 Postres congelados	50
3.3.1.2.1.4 Otros productos alimenticios	56
3.3.1.3 Otros estudios recientes en productos alimenticios	57
3.4 TENDECIA S FUTURAS	60
4. CONCLUSION	62
5. BIBLIOGRAFIA	63

LISTA DE FIGURAS

	PAG
Figura 1. Representación esquemática de una gota de aceite emulsionado	15
Figura 2. Representación esquemática de una emulsión múltiple del tipo a) W1/O/W2 o b) O1/W/O2.	16
Figura 3. Representación esquemática de una microcápsula.	20
Figura 4. Tipos de microcápsulas.	21
Figura 5. Plan general para microcápsulas.	22
Figura 6. Ilustración esquemática de los diferentes procesos de microencapsulación.	29
Figura 7. Técnica de microencapsulación por emulsión.	39
Figura 8. Tecnologías de encapsulación: Rango de cada técnica.	44
Figura 9. Representación esquemática del procedimiento de emulsificación en probióticos.	45
Figura 10. Proceso de microencapsulación desarrollada por medio de gelificación de cuajo inducida.	46
Figura 11. Metodología de encapsulamiento.	52
Figura 12. Elaboración de helado con encapsulados probioticos.	53
Figura 13. Formato de evaluación sensorial.	54
Figura 14. Aceptabilidad de helado con probioticos encapsulados.	55

LISTA DE TABLAS

	PAG
Tabla 1. Métodos utilizados para la encapsulación, biopolímeros y componentes activos	36
Tabla 2. Ejemplos de probióticos encapsulados y sus aplicaciones en quesos.	47
Tabla 3. Ejemplos de probióticos encapsulados y sus aplicaciones en yogurt.	49
Tabla 4. Ejemplos de probióticos encapsulados y sus aplicaciones en postres congelados.	51
Tabla 5. Ejemplos de probióticos encapsulados y sus aplicaciones en varios sistemas alimenticios.	56

RESUMEN

En la actualidad, las investigaciones se han enfocado hacia el empleo del proceso de microencapsulación como estrategia para mejorar la viabilidad de los productos enfocadas en brindarle al consumidor alimentos sanos y protegidos. Esta tecnología proporciona una alternativa para solucionar los problemas significativos de algunos productos en cuanto a la vida útil de anaquel, estabilidad y funcionalidad. La tendencia se centra en la selección de materiales de recubrimiento seguros y efectivos, además en buscar la conservación de los productos o sustancias alimenticias para obtener mayores aplicaciones en el sector. Por lo tanto, esta revisión se centra en exponer como la técnica de microencapsulación por emulsificación promueve la conservación de alimentos y la generación de productos funcionales.

Palabras claves: Microencapsulación, emulsificación, vida útil, viabilidad, conservación.

ABSTRACT

At present, investigations have focused on the use of microencapsulation process as a strategy to improve the viability of products focused on providing healthy foods to consumers and protected. This technology provides a significant alternative to solve some problems regarding the products useful shelf life stability and functionality. The trend focuses on the selection of materials and effective insurance cover, well in seeking the preservation of products or food substances for further applications in the sector. Therefore, this review focuses on exposing as microencapsulation by emulsification technique promotes food preservation and generation of functional products.

Keywords: microencapsulation, emulsification, shef life, viability, conservation.

1. INTRODUCCION

En la actualidad, uno de los métodos más utilizados para la conservación de las propiedades fisicoquímicas de sustancias químicas es la microencapsulación. Se sabe que muchos alimentos, tales como jugos, zumos de frutas, vegetales y compuestos farmacológicos, fácilmente pierden su actividad biológica por oxidación, cuando se exponen al ambiente. Esta situación sugiere la necesidad de aplicar técnicas que impidan esta degradación o reducir los efectos del envejecimiento de las células. La actividad biológica de estos compuestos es de muy corto plazo, debido a la rápida oxidación en condiciones ambientales y a la degradación durante el procesamiento de los alimentos, sucediendo una pérdida total o parcial de los mismos, ocasionando la pérdida de sus propiedades funcionales y limitando su aplicación para productos de consumo humano (Castañeta *et al.*, 2011).

Esta técnica se emplea para la prolongación de la vida útil del producto, fortificación y liberación controlada de nutrientes en el sitio de acción, disminución de la higroscopicidad, transformación de líquidos a polvos, estabilización durante el almacenamiento y transporte a condiciones extremas de temperatura y humedad, mejoramiento de temperatura, humedad, cualidades organolépticas y funcionales de productos alimenticios y limitación de la oxidación e interacción con otros ingredientes (Pérez *et al.*, 2013).

La microencapsulación puede ser considerada una forma especial de empaquetar, en la que un material en particular puede ser cubierto de manera individual para protegerlo del ambiente y de influencias deletéreas. En un sentido amplio, este método provee un

medio de envasar, separar y almacenar materiales en escala microscópica, formando una barrera entre el principio activo y el medio externo, hasta su liberación posterior bajo condiciones controladas. Dentro del término microencapsulación se incluyen las microcápsulas, micropartículas, nanocápsulas y sustancias activas atrapadas o embebidas, aunque existe una terminología específica dependiendo de la industria de aplicación (Santos, 2014).

Hoy en día muchas sustancias pueden ser encapsuladas en partículas en polvo sólidas o ellas pueden ser microencapsuladas en emulsiones estructuradas, entre ellas perfumes, fertilizantes, precursores en impresión, aceite de limón, fármacos lípidos, sabores volátiles, conservación de tejidos, probióticos, prebióticos, nutraceúticos (Parra, 2010).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Recopilar y analizar las investigaciones y teorías sobre la conservación de alimentos mediante la microencapsulación por emulsificación.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Exponer las diferentes técnicas de microencapsulación utilizada en la industria de alimentos
- Investigar sobre la microencapsulación por emulsificación como vehículo de conservación de alimentos.
- Conocer las tendencias actuales sobre la aplicación de esta técnica en la industria de los alimentos.
- Describir la progresión futura de la microencapsulación como herramienta para el aprovechamiento en alimentos.

3. DESARROLLO DEL TEMA

3.1 GENERALIDADES DE LAS EMULSIONES

Una emulsión es una dispersión termodinámicamente inestable de dos o más líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles que fueron sometidos a agitación. Los diámetros de las gotas líquidas que se encuentran dispersas están en el rango de 0.1 y 20 μm . Aunque se traten de dispersiones termodinámicamente inestables, las emulsiones pueden convertirse en cinéticamente estables, gracias a la presencia de agentes tensioactivos que presenta la capacidad de absorción en la superficie de las gotas (Santos, 2014).

Las emulsiones, sistemas coloidales y espumas tienen su origen en la naturaleza y han evolucionado con los avances en las técnicas de procesamiento de alimentos. La leche, por ejemplo, tiene una forma natural en su membrana, que permite que la grasa sólida que se dispersa en una fase acuosa. Formulaciones alimentarias tempranas de la mantequilla, el queso, la crema batida y helado tomaron ventaja de estos emulsionantes naturales (Hasenhuettl y Harte, 2008).

La definición tradicional de una emulsión se refiere a una dispersión coloidal de gotas de un líquido en otra fase líquida. Por lo general, las emulsiones son sustancias cuyas moléculas contienen una parte no polar y otra polar, por lo que es posible que se disuelva tanto en el agua o soluciones acuosas como en disolventes orgánicos y aceites. Dependiendo del predominio de una de las partes de la molécula sobre la otra, el emulgente tendrá un carácter lipófilo o lipofobo, y por consiguiente, presentará una mayor afinidad por el agua o por los aceites; esta característica se conoce como balance

hidrófilo-lipofobo (Ramírez, 2008). La representación de algunas típicas emulsiones alimentarias en la fase agua / aceite se muestra en la figura 1 (Hasenhuettl y Harte, 2008).

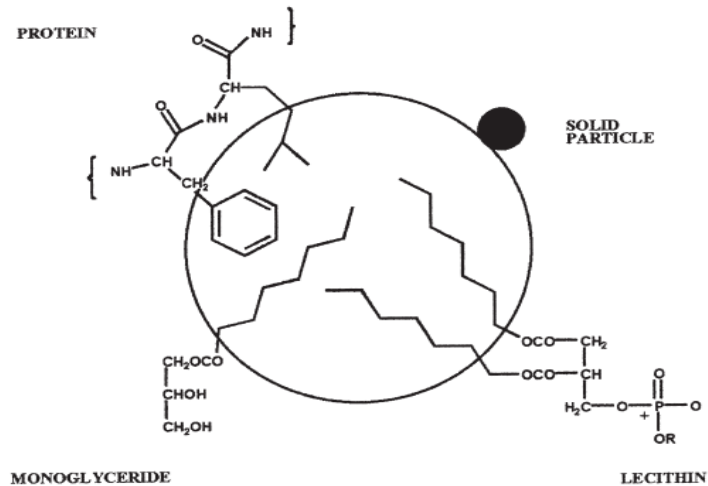


Figura 1. Representación esquemática de una gota de aceite emulsionado

Fuente: (Hasenhuettl y Harte, 2008).

3.1.1 Formación de emulsiones

Según Castañeta *et al.*, (2011), una emulsión es una dispersión coloidal de un líquido en otro inmiscible con él, es un sistema termodinámicamente inestable, dicha inestabilidad se debe al aumento del área (ΔA) durante la emulsificación, que produce un incremento de la energía libre de Gibbs (ΔG):

$$\Delta G = \gamma \cdot \Delta A$$

Donde γ es la tensión superficial. Las emulsiones pueden prepararse mezclando dos líquidos inmiscibles o muy poco miscibles con agitación continua, mediante un equipo homogeneizador.

También se pueden formar emulsiones múltiples las cuales fueron emulsiones, descubiertas por Seifritz en el año 1925, son sistemas formados por una fase interna dispersada en otra fase, llamada intermedia, que a su vez está dispersada en una externa, o lo que sería lo mismo, una emulsión simple dispersada en otra fase. Igual que las emulsiones simples, se pueden clasificar según la naturaleza de las fases, de modo que encontramos las agua-en-aceite-en-agua ($W_1/O/W_2$) o las aceite-en-agua-en-aceite ($O_1/W/O_2$) (Figura 2), (Vilanova, 2009).

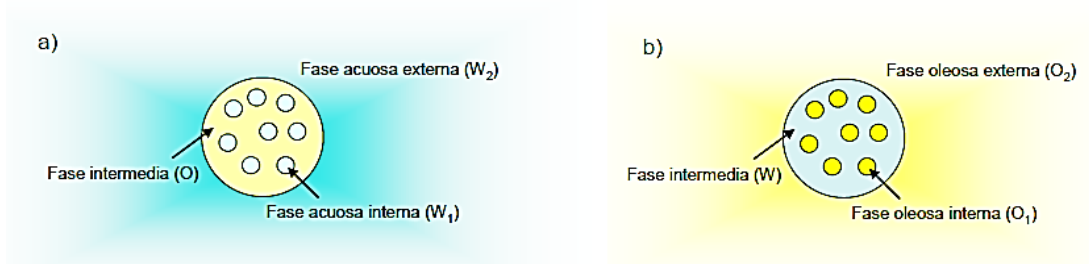


Figura 2. Representación esquemática de una emulsión múltiple del tipo a) $W_1/O/W_2$ o b) $O_1/W/O_2$.

Fuente: Vilanova (2009).

La estructura de las emulsiones múltiples permite la posibilidad de encapsular sustancias de diferente naturaleza tanto en la fase interna como en la intermedia¹² protegiéndolas de agentes externos y a su vez pudiendo controlar su liberación mediante estímulos (temperatura, pH, dilución o cizalla entre otros), (Vilanova, 2009). Las emulsiones simples, las emulsiones dobles o múltiples se caracterizan por el hecho de que la fase dispersa contiene a su vez líquido inmiscible con el de las gotas que lo contiene y por lo general igual o miscible con la fase continua. El cambio de un tipo de emulsión a otro, por ejemplo de O/W a W/O, se denomina inversión de la

emulsión, y se detecta con facilidad con la medición de la conductividad eléctrica (Santos, 2014).

3.1.2 Surfactantes

Son moléculas con una estructura muy característica. Este tipo de estructura les habilita para adsorber en las interfases, formar agregados y auto asociarse en soluciones acuosas. Estas moléculas están caracterizadas por la posesión de dos partes de naturaleza opuesta, una polar y apolar. La parte polar o hidrófila de la molécula puede llevar una carga positiva o negativa, y es esta parte la que define al agente tensioactivo como catiónico o aniónico respectivamente (Aranberri *et al.*, 2006). De estas manera, el surfactante se posiciona en cierta medida, en el aire / agua o de la interfaz aceite / agua donde puede actuar a la superficie inferior o la tensión interfacial, respectivamente (Hasenhuettl y Harte, 2008). Sin la presencia de agentes emulgentes las fases de una emulsión (aceite, agua) se separan inmediatamente (Ramírez, 2008). Existen muchos tipo de surfactantes, desde los sintéticos hasta los naturales, los mismos que se clasifican en aniónicos, tales como: palmitato de sodio, lauril sulfato de sodio, alquil benceno, dioctil sulfosuccinato de sodio, lauroil isotionato de sodio, etc.; ampliamente usados en la preparación de productos de limpieza y detergentes, y los surfactantes no iónicos, tales como: fenoles, éteres, ésteres, amidas y otros (Castañeta *et al.*, 2011).

3.1.3 Estabilidad de las emulsiones

La estabilidad de las emulsiones es una propiedad de fácil apreciación en los casos extremos en los cuáles la emulsión coalesce completamente en algunos minutos, o al

contrario permanece aparentemente inalterada sin ninguna separación visible por varios meses. El proceso de ruptura de las emulsiones puede ocurrir mediante cuatro mecanismos de inestabilidad diferentes (Santos, 2014);

- Sedimentación: separación de las gotas por efectos de la gravedad, aumentando su concentración en la parte superior (cremado) o en la parte inferior (sedimentación), (Vilanova, 2009)
- La floculación es la adhesión de las gotas sin fusionarse y una vez más no existe una variación del tamaño de las gotas. La predicción y control de la floculación mediante la adicción de agentes tensoactivos iónicos, (Aranberri *et al.*, 2006).
- Coalescencia es la fusión de gotas para crear unas gotas más grandes con la eliminación de parte de la interfase líquido/líquido. Este cambio irreversible requeriría un aporte extra de energía para restablecer la distribución de tamaño de las partículas originales, (Santos, 2014)
- Engrosamiento de gotas (Ostwald ripening). Se debe al crecimiento de las gotas más grandes a costa de las más pequeñas hasta que éstas últimas prácticamente desaparecen, (Aranberri *et al.*, 2006).

En general, la adición de un agente tensioactivo ayuda a mejorar la estabilidad de las emulsiones dependiendo del tipo que se maneje (Santos, 2014).

3.2 GENERALIDADES DE LA MICROENCAPSULACION

Los procesos de encapsulación se iniciaron por la década de 1930 por la National Cash Register en la que se utilizó gelatina como material encapsulante de un tinte. De ahí en adelante, este método fue ampliamente usado para cubrir y conservar sabores, aromas, sustancias farmacéuticas, etc.; incluso sustancias tóxicas, para evitar su toxicidad y el escape de los mismos. También se ha utilizado para la liberación sostenida o controlada de fármacos, sabores, aromas, perfumes, fertilizantes y otros (Castañeta *et al.*, 2011). Su comienzo en los productos de microencapsulación se inició en 1950 en las investigaciones dentro de la presión-sensitiva de cubierta para la elaboración de papel destinado a copias (Parra, 2010).

El concepto de encapsulación se ha fundamentado en la incorporación de una matriz polimérica, la cual forma un ambiente capaz de controlar su interacción con el exterior. La técnica de microencapsulación ha sido descrita como un proceso en donde pequeñas partículas o gotas son rodeadas por un recubrimiento homogéneo o heterogéneo integrado a las cápsulas con variadas aplicaciones (Lupe *et al.*, 2012). Se utiliza de igual manera el término de microencapsulación en la industria alimentaria, cuando se encapsulan sustancias de bajo peso molecular o en pequeñas cantidades, aunque los dos términos, encapsulación y microencapsulación, se emplean indistintamente (Parra, 2010).

La microencapsulación es un proceso mediante el cual ciertas sustancias químicas, sustancias biológicamente activas (sabores, vitaminas o aceites esenciales) y otro tipo de sustancias, son introducidas en una matriz de biopolímeros con el objetivo de

impedir su pérdida, para protegerlos de la reacción con otras sustancias del ambiente o para impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz o la presencia de oxígeno. Las sustancias microencapsuladas tienen la ventaja de liberarse gradualmente de la matriz o pared que lo tiene atrapado. Y desde luego, se obtienen productos farmacológicos y productos alimenticios con mejores características sensoriales y nutricionales (Castañeta *et al.*, 2011).

La microencapsulación protege a los materiales encapsulados de factores como el calor y la humedad, permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad. Ayuda, además, a que los materiales frágiles resistan las condiciones de procesamiento y empaque mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia (Martín *et al.*, 2009). Estas especificaciones han llevado a describir la microencapsulación como, la técnica de obtención de una barrera que retarda las reacciones químicas con el medio que lo rodea promoviendo un aumento en la vida útil del producto (figura 3), la liberación gradual del compuesto encapsulado e incluso facilitando su manipulación al convertir un material líquido o gaseoso a una forma sólida llamada microcápsula (Lupo *et al.*, 2012).



Figura 3. Representación esquemática de una microcápsula

Fuente: (Castañeta *et al.*, 2011).

Una microcápsula consiste en una membrana esférica, semipermeable, delgada y fuerte que rodea un núcleo sólido o líquido, con un diámetro que varía de pocos micrones a 1000 μm . El núcleo que compone la microcápsula es también denominado fase interna o principio activo, así como a la membrana se puede nombrar capa externa o matriz. En este sentido, las micropartículas, microcápsulas o microesferas son definidas como el producto del proceso de microencapsulación dependiendo de cuál sea su morfología y estructura interna. Las microcápsulas pueden tener forma esférica o irregular. Asimismo, pueden estar constituidas por una membrana simple, múltiples capas e incluso núcleos múltiples cuya matriz puede ser del mismo material o una combinación de varios (Figura 4) (Lupo *et al.*, 2012).



Figura 4. Tipos de microcápsulas

Fuente: (Lupo *et al.*, 2012).

Según Burgain *et al.*, (2011), la tecnología de encapsulación se suele describir en tres etapas para la generación de microcápsulas estables como se muestra en la figura 5. El primer paso consiste en la incorporación de un componente bioactivo en una matriz que puede ser líquido o sólido. En caso del núcleo es líquido, la incorporación se puede dar por medio de una disolución o una dispersión en la matriz, mientras que si el núcleo es sólido la incorporación será mediante aglomeración o una adsorción. Para la segunda etapa, la matriz líquida se dispersa, mientras que para una matriz sólida es pulverizada.

El último paso consiste en la estabilización por medio de procesos químicos (polimerización), físico-químicos (gelificación) o un proceso físico (evaporación, solidificación, coalescencia).

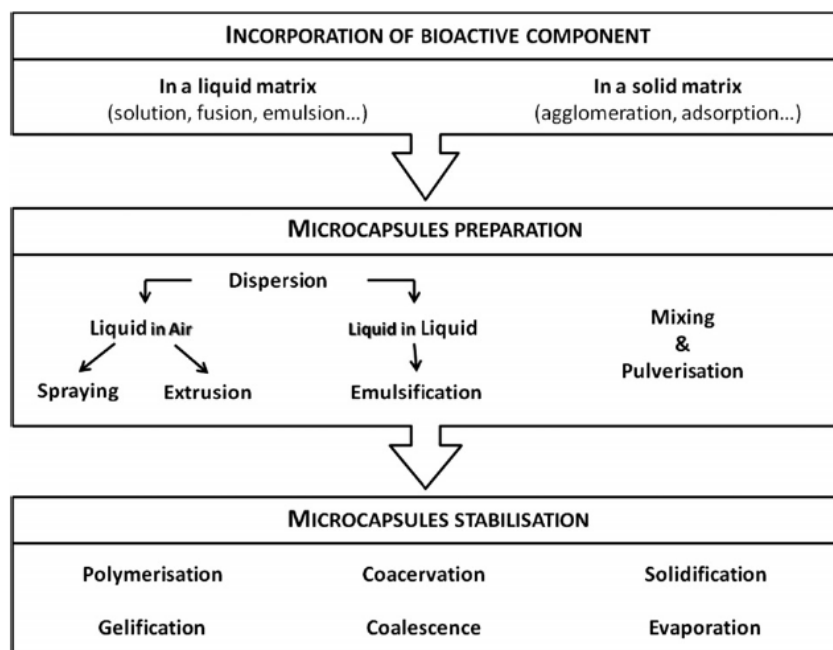


Figura 5. Plan general para microcápsulas.

Fuente: (Burgain *et al.*, 2011).

3.2.1 Materiales de encapsulación

Actualmente se utilizan una gran variedad de biopolímeros para formar encapsulaciones sencillas y múltiples, la selección se basa en sus características y propiedades, así como la compatibilidad que se puedan tener entre si cada uno de ellos cada uno de ellos, para realizar dicha interacción y formar más de una capa. Es necesario tener dos tipos de materiales, uno que provenga del grupo de biopolímeros cargado negativamente como la goma arábica, goma gellan, pectina, alginato, carboximetil celulosa y otro grupo de biopolímeros con carga positiva como la gelatina

(cuando se ajusta el pH por debajo del punto isoelectrico la carga neta en la gelatina es positiva) o el quitosano. (Saravanan y Rao, 2010); (Burgain, 2011).

Los biopolímeros se clasifican de acuerdo a su origen en naturales y sintéticos. Los de origen natural provienen de cuatro grandes fuentes: origen animal (colágeno/gelatina), origen marino (algas, quitosano), origen vegetal (lípidos, hidrocoloides proteínas y polisacáridos) y origen microbiano (ácido poliláctico y polihidroxialcanoatos). Por otra parte se encuentran los biopolímeros sintéticos, que a pesar de su éxito como sistemas encapsulante no pueden ser utilizados para su aplicación en alimentos a menos que sean reconocidos generalmente como seguros, por sus siglas en ingles GRAS (García-Ceja *et al.*, 2012).

Los materiales de recubrimiento se usan justamente para proteger una sustancia o un objeto de la humedad atmosférica, luz ultravioleta, etc., El material cobertor posee una “funcionalidad” adicional, como ser, autorregenerativo, autolimpiante, percepción suave, antibacteriana, anticorrosiva y otros. (Castañeta *et al.*, 2011). Los polímeros más populares para los ingredientes alimentario en encapsulación están la gelatina, la proteína de suero de leche) y carbohidratos tales como almidones, maíz, sólidos de jarabe o maltodextrinas. (Da costa *et al.*, 2011). Dentro de estos materiales de recubrimiento tenemos:

3.2.1.1 Lípidos

Dentro de los principales agentes encapsulante de carácter lipídico están: grasa láctea, lecitinas, ceras, ácido esteárico, monoglicéridos, diglicéridos,

parafinas, aceites hidrogenados como el aceite de palma, algodón y soya; son excelentes formadores de películas capaces de cubrir las partículas individuales, proporcionando una encapsulación uniforme (Parra, 2010). La cera de carnauba, el alcohol estearílico y el ácido esteárico son grasas que funden a una determinada temperatura y son erosionables por la acción de las lipasas que existen en la cavidad gástrica (Caicedo, 2010).

3.2.1.2 Alginato

Es un polímero natural derivado de las algas marinas. Este es el más utilizado para la formación de matrices (García-Ceja *et al.*, 2012). Los hidrocoloides han sido empleados como matriz debido a su capacidad para absorber agua, fácil manipulación e inocuidad. El alginato es un hidrocoloides que posee tanto estas características como propiedades gelificantes, estabilizantes y espesantes, razones por las cuales ha sido de gran interés para la industria alimentaria. (Lupo *et al.*, 2012). Aunque se le han atribuido algunas desventajas como su aplicación a nivel industrial y susceptibilidad al ambiente ácido, esto puede ser compensado mezclando el alginato con otros compuestos poliméricos (almidón), al cubrir las cápsulas con otros componentes (quitosano) y modificar su estructura utilizando varios aditivos como por ejemplo glicerol (Santos, 2014).

3.2.1.3 Quitosano

Es un polisacárido natural de alto peso molecular, se encuentra en el exoesqueleto de los crustáceos y las paredes celulares de algunos hongos. Ha sido utilizado ampliamente en áreas, una de ellas es la encapsulación de probióticos, mezclándose con otros polisacáridos para la formación de capsula (García-Ceja *et al.*, 2012). Se trata de un componente que muestra una buena eficacia para incrementar la viabilidad de las células microbianas. A un pH ácido tiene mayor facilidad de disolución por lo que constantemente se emplea en combinación con otro polímero como el alginato que soporta el pH ácido estomacal. Una vez que alcanza el intestino delgado es degradado por la microbiota endógena (Santos, 2014)

3.2.1.4 Carbohidratos

Son extensivamente empleados en la encapsulación, dentro de este amplio grupo se encuentran los almidones, maltodextrinas y gomas (Parra, 2010).

3.2.1.4.1 Almidones

El almidón se compone básicamente de amilosa y amilopectina. Por su funcionalidad como agente prebiótico, el almidón resistente puede ser utilizado por los probióticos por lo que es ideal para la encapsulación (García-Ceja *et al.*, 2012). Dentro de los almidones más importantes se destacan el de papa (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*), arroz (*Oryza sativa*), tapioca (*Manihot esculenta*) e inulina (Parra., 2010).

3.2.1.4.2 Maltodextrinas

Se elaboran por métodos de hidrólisis ácida o enzimática de los almidones. En la selección de materiales de pared para encapsular, la maltodextrinas es una buena solución entre el costo y la efectividad; tiene baja viscosidad a alta proporción de sólidos, son inodoras, incoloras y de baja viscosidad a altas concentraciones, además permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original, está disponible en diferentes pesos moleculares y son extensivamente utilizados en la industria de alimentos (Parra, 2010).

3.2.1.4.3 Gomas

Son generalmente insípidas, pero pueden tener un efecto pronunciado en el gusto y sabor de alimentos, son solubles, de baja viscosidad, poseen características de emulsificación y es muy versátil para la mayoría de los métodos de encapsulación (Parra, 2010). Entre las gomas más utilizadas como material de encapsulación se encuentra la goma Xantana, k-carragenina y la goma arábica (García-Ceja *et al.*, 2012).

3.2.1.5 Proteínas

La gelatina fue el primer material utilizado en la microencapsulación, y es, en la actualidad, un material con un importante potencial. La albúmina y el colágeno también se han empleado en la obtención de micropartículas (Caicedo, 2010). Respecto a la gelatina es una goma de proteína, es un gel

termorreversible y fue utilizado para la encapsulación de probióticos, solo o en combinación con otros compuestos. Debido a su naturaleza anfótero, es una excelente opción para la unión con polisacáridos aniónicos tales como goma gellan (Burgain *et al.*, 2011).

3.2.1.5.1 Proteínas de suero lácteo

Las Proteínas aislado del suero lácteo (PS) tienen todas las propiedades funcionales necesarias para una agente encapsulante. En el mercado la proteína se puede encontrar como proteína aislada de suero (PS) (95-96% proteína) o concentrado de suero (CPS). El CPS ofrece las propiedades requeridas para estabilizar emulsiones. Las PS se han utilizado en combinación con hidratos de carbono y actúan como agentes encapsulante de compuestos volátiles. La proteína de suero más usada en la industria alimentaria es la beta-lactoglobulina debido a sus propiedades emulsificantes (Hernández, 2011)

3.2.2 Ventajas y desventajas de la microencapsulación

Las ventajas y desventajas al utilizar este método varían de acuerdo a la técnica empleada pero podemos mencionar algunas que generalmente afectan a este proceso;

- Ventajas:

Según Parra (2010);

- Proteger el material activo de la degradación producida por el medio ambiente (calor, aire, luz, humedad), etc.

- El compuesto encapsulado se libera gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado en un punto determinado.
- Las características físicas del material original pueden ser modificadas y hacer más fácil su manejo (un material líquido convertido a polvo), la higroscopia puede ser reducida, la densidad se modifica y el material contenido puede ser distribuido más uniformemente en una muestra.
- El sabor y olor del material puede ser enmascarado.
- Puede ser empleado para separar componentes, con el fin de que estos no reaccionen.
- Estabilización de principios activos inestables.
- Transformación de líquidos en sólidos.

- Desventajas:

Según Santos (2014);

- Limitación en la elección del material encapsulante.
- Tecnología restringida y patentada por lo que puede resultar costosa.
- Variación de peso, ya que es difícil controlar el grosor de la película.

3.2.3 Técnicas utilizadas en la microencapsulación de alimentos

La encapsulación se considera como una tecnología de incorporar materiales de protección a pequeñas cápsulas que se pueden liberar a velocidad controlada bajo condiciones específicas. Muchas de las tecnologías de encapsulación, tales como la

tecnología de emulsión, método de extrusión y secado por aspersión son muy utilizadas en la industria (Shi *et al.*, 2013).

Existen diversos métodos de microencapsulación los cuales se dividen en dos grupos: procesos químicos y mecánicos. En los procesos químicos se encuentran método de coacervación, gelificación iónica, entre otros, mientras en los procesos mecánicos están secado por aspersión, liofilización, por congelamiento o enfriamiento, extrusión, emulsión y por lecho fluidizado (García-Ceja *et al.*, 2012). Estos diferentes mecanismos de microencapsulación se pueden esquematizar de la siguiente manera ver Figura 6 (Parra, 2010):

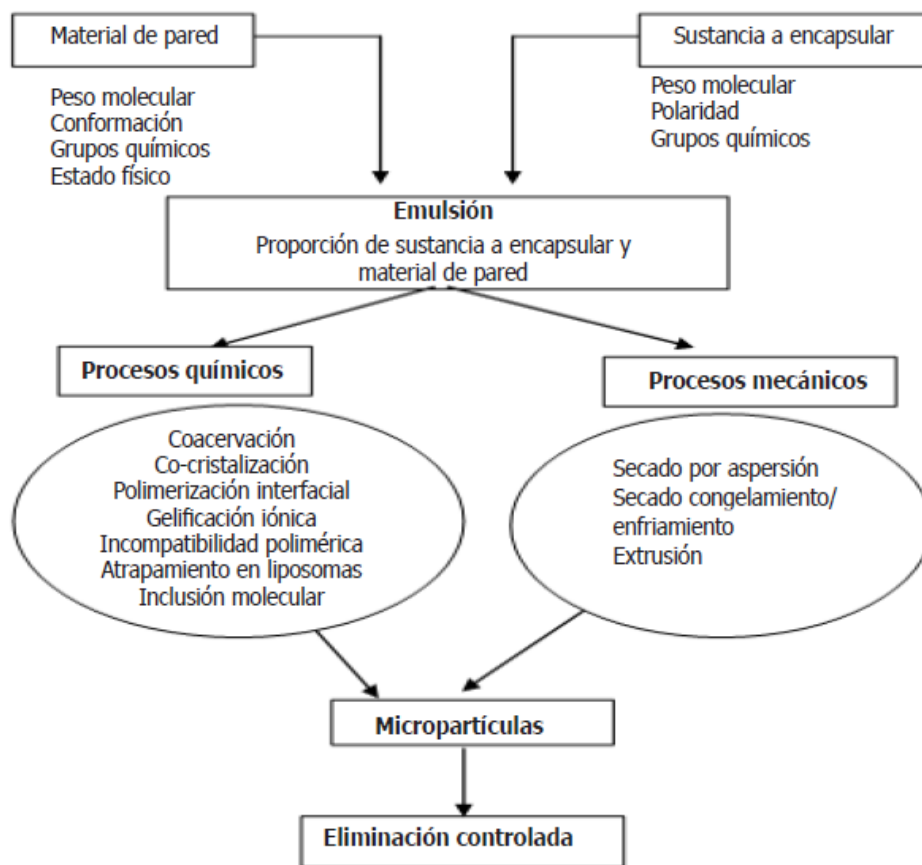


Figura 6. Ilustración esquemática de los diferentes procesos de microencapsulación.

Fuente: (Parra, 2010)

Existen numerosas técnicas para la producción de microcápsulas y se han sugerido que podrían identificarse más de 200 métodos en la literatura de patentes. No obstante algunos autores clasifican a los métodos de encapsulación en. Físicos o mecánicos y químicos (Santos, 2014). La selección del método de encapsulación está en función del: tamaño medio de la partícula requerida, de las propiedades físicas del agente encapsulante, de la sustancia a encapsular, de las aplicaciones del material encapsulado propuesto, del mecanismo de liberación deseado y del costo (Martín *et al.*, 2009).

3.2.3.1 Procesos químicos

3.2.3.1.1 Coacervación

Consiste en un soluto polimérico separado en forma de pequeñas gotas líquidas, que constituye el coacervado. La deposición de este coacervado alrededor de las partículas insolubles dispersas en un líquido forma cápsulas incipientes, que por una gelificación apropiada da las cápsulas finales. Es un fenómeno que se presenta en soluciones coloidales y se considera como el método original de encapsulación (Parra, 2010). Con esta técnica, se pueden obtener microcápsulas esféricas muy pequeñas, de hasta de 4 μm y con una carga de material a encapsular de alrededor del 90%. Además, proporcionan una buena protección contra las pérdidas por volatilización y contra la oxidación (Martín *et al.*, 2009). Para la encapsulación este proceso ha sido extensivamente utilizado para la producción de microcápsulas de alcohol polivinilo, gelatina-acacia y varios otros polímeros (Parra, 2010).

3.2.3.1.2 Co-cristalización

Es un proceso de microencapsulación donde dos ingredientes son incorporados en un conglomerado poroso de microcristales de sacarosa formados por cristalización espontánea. Los procesos son llevados a cabo por concentración de jarabes de sacarosa hasta supersaturación. Lo anterior se logra con agitación constante del material a encapsular, esto permite una nucleación y aglomeración del producto (Parra, 2010).

3.2.3.1.3 Polimerización interfacial

En este proceso se produce la polimerización de un monómero en la interfase de dos sustancias inmiscibles, formando una membrana, que dará lugar a la pared de la microcápsulas. Este proceso tiene lugar en tres pasos como lo describe (Martín *et al.*, 2009):

- a) Dispersión de una solución acuosa de un reactante soluble en agua, en una fase orgánica para producir una emulsión agua en aceite.
- b) Formación de una membrana polimérica en la superficie de las gotas de agua, iniciada por la adición de un complejo soluble en aceite a la emulsión anterior.
- c) Separación de las microcápsulas de la fase orgánica y su transferencia en agua para dar una suspensión acuosa. La separación de las microcápsulas se puede llevar a cabo por centrifugación.

3.2.3.1.4 Gelificación iónica

Este método se desarrolló para lograr la inmovilización celular, utilizando esencialmente alginato como materia prima de la membrana en combinación con iones divalentes como calcio, para generar la gelificación. La correlación iónica entre los iones calcio y los similares del ácido gulurónico del alginato, dan origen al gel que se conoce como “modelo de caja de huevo”. En el momento de interactuar los iones calcio con el alginato el gel es formado de manera instantánea, es posible la manipulación de la dureza del gel cambiando las condiciones de fabricación como por ejemplo, pH, concentración de iones etc. (Santos, 2014). Existen dos tipos de gelificación la externa y la interna, (Parra, 2010). mediante esta técnica se pueden encapsular agentes activos como vitaminas, antioxidantes, hierro y una gran gama de probióticos (García-Ceja *et al.*, 2012).

3.2.3.1.5 Incompatibilidad polimérica

En este método se utiliza el fenómeno de separación de fases, en una mezcla de dos polímeros químicamente diferentes e incompatibles en un mismo solvente. El material a encapsular interactuará solo con uno de los dos polímeros, el cual se adsorbe en la superficie del material a encapsular formando una película que los engloba. De manera general, este proceso se lleva a cabo en solventes orgánicos y cuando el material a encapsular es sólido (Martín *et al.*, 2009).|

3.2.3.1.6 Liposomas

Los liposomas son partículas microscópicas hechas de lípidos y agua principalmente. Son estructuras compuestas de una bicapa de lípidos que engloban un volumen acuoso. Se elaboran con moléculas anfifílicas que poseen sitios hidrofóbicos, por ejemplo, fosfolípidos como la lecitina. En la fase acuosa, se coloca en material a encapsular cuando es hidrofílico o bien se agrega en el solvente orgánico donde se disuelven los fosfolípidos, si es lipofílico (Martín *et al.*, 2009). Materiales hidrofóbicos e hidrofílico pueden ser atrapados en liposomas que también pueden ser utilizados para la liberación de vacunas, enzimas y vitaminas del cuerpo; estos materiales consisten de una o más capas de lípidos no tóxicos y aceptables en alimentos; sin embargo, la permeabilidad, estabilidad, actividad superficial y afinidad pueden variar con el tamaño y composición del lípido. La liberación del principio activo se realiza por difusión a través de la bicapa, por destrucción de la vesícula, por medio de una concentración crítica de iones de calcio o por un cambio de pH (Parra, 2010).

3.2.3.1.7 Inclusión molecular

Esta técnica es definida como el resultado de interacciones entre componentes en los cuales una pequeña molécula se ajusta dentro de otra y es rodeada por la forma circular de la otra molécula que es el agente encapsulante, en este caso es la ciclodextrina. A través de este proceso se pueden proteger sabores y otros ingredientes sensibles al calor

que son adicionados en alimentos, aceite de ajo, cebolla y vitaminas A, E, K (Parra, 2010).

3.2.3.2 Procesos físicos o mecánicos

3.2.3.2.1 Secado por aspersión

Es el método comúnmente utilizado para encapsular ingredientes alimenticios y además el más económico. Es una técnica de secado ya que transforma un material líquido en un sólido; produce partículas que protegen el material activo en matrices formadas generalmente por polímeros (Santos, 2014). Es el método más común de encapsulación de ingredientes alimenticios, como ejemplos se tienen: vitaminas (C, E), ácido fólico, aromas, orégano, citronela, aceite de cardamomo, bacterias probióticas, lípidos, ácido linoléico, aceites vegetales; minerales como hierro; pigmentos de antocianina y leche entre otros alimentos (Parra, 2010). Una de las grandes ventajas de este proceso, además de su simplicidad, es que es apropiado para materiales sensibles al calor, ya que el tiempo de exposición a temperaturas elevadas es muy corto (Martín *et al.*, 2009). En comparación con otros métodos, el secado por aspersión proporciona una eficiencia de encapsulación relativamente alta. La mayor eficiencia de encapsulación que se alcanza con el secado por aspersión, se encuentra entre 96 y 100%, valores superiores en comparación con otros métodos (Parra, 2010).

3.2.3.2.2 Aspersión por congelación o enfriamiento

Este método es considerado uno de los más adecuados para el secado de materiales biológicos y alimentos sensibles (Parra, 2010).

En este método el material encapsulante pasa por un tratamiento de fusión. La combinación de la cubierta con el material a encapsular, que se encuentra distribuido en la misma, es fundido en una cámara por la que atraviesa una corriente de aire frío o un gas enfriado con anterioridad (Parra, 2010). El siguiente paso es pulverizar la muestra. Los materiales que se utilizan como cubierta tienen una punto bajo de fusión, como por ejemplo las ceras, grasas y ácidos grasos, esta técnica es adecuada para compuestos termolábiles (Hernández, 2011).

3.2.3.2.3 Extrusión

Como método de microencapsulación fue patentada en 1957 por Swisher. Se trata del paso de una emulsión con el principio activo y el componente encapsulante a través de una cámara a alta presión. Se usa principalmente en la encapsulación de aromas, utilizando matrices de hidratos de carbono. Este tipo de encapsulación es útil a escala de laboratorio (Hernández, 2011).

Un proceso típico involucra la mezcla de sabores con jarabe de maíz o almidón modificado caliente, extrudiendo la mezcla en forma de esferitas (pellets) dentro de un baño con un disolvente frío como el isopropanol. El disolvente frío solidifica el jarabe en un sólido amorfo, bañando los sabores (Parra, 2010).

Los métodos y su aplicación con los diferentes biopolímeros se presentan en la Tabla 1. (García-Ceja *et al.*, 2012).

Técnicas de encapsulación	Biopolímeros	Componentes activos
Secado por aspersión	Maltodextrina, goma arábica, diferentes aislados de proteínas, caseinato de sodio, polisacárido de soya soluble, β -ciclodextrina, goma de mezquite	Aceite de naranja, acetato de linalol, cardamomo, d-limoneno
Inclusión molecular	β -ciclodextrina	Linalol, aceite de cáscara de naranja, d-limoneno, aceite de limón, sabor café natural y sintético
Coacervación	Gelatina, polifosfato de sodio, goma arábica	Aceite de romero, aceite de menta, teobromina
Extrusión	Maltodextrina, azúcar simple o almidón modificado	Sabores, vitamina C, colorantes
Secado por enfriamiento/congelamiento	Aceites vegetales hidrogenados o aceites vegetales de bajo punto de fusión	Aditivos alimentarios sólidos, sabores sólidos
Recubrimiento en lecho fluidizado	Hidrocoloides, polímeros solubles en disolvente, carbohidratos simples	Sólidos, por lo general productos farmacéuticos

Tabla 1. Métodos utilizados para la encapsulación, biopolímeros y componentes activos.

Fuente: (García-Ceja *et al.*, 2012)

Actualmente se utilizan una gran variedad de biopolímeros para formar encapsulaciones sencillas y múltiples, la selección se basa en sus características y propiedades, así como la compatibilidad que se puedan tener entre si cada uno de ellos, para realizar dicha interacción y formar más de una capa. (García-Ceja *et al.*, 2012).

3.2.4 Métodos para controlar la liberación de las microcápsulas

La liberación controlada puede ser definida como un método por el cual agentes o ingredientes están disponibles en sitios y tiempos deseados a una velocidad específica. Una ventaja importante es que el compuesto encapsulado se libera gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado a velocidades controladas bajo la influencia de condiciones específicas. Para lograr con éxito la liberación deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos: selección de la membrana, naturaleza química, morfología, temperatura de transición, el grado de hinchamiento y de cruzamiento también influyen en la difusión de la membrana, aunque pueden disminuir la velocidad de liberación (Parra, 2010). Los componentes se liberan de forma controlada por difusión, disolución, disociación y/o fracturación; la cual es importante cuando los agentes activos deben ser liberados bajo ciertas condiciones (García-Ceja *et al.*, 2012)

Los mecanismos fundamentales de liberación son la difusión y la erosión. La difusión se rige por la entrega del medio acuoso al interior del sistema donde disuelve al fármaco y difunde a través del material polimérico, creando poros por los cuales se libera el resto de fármacos contenidos en las microesferas. En la erosión se pone de manifiesto un mecanismo de liberación por relajación de las macromoléculas, lo cual está

determinado por la biodegradabilidad intrínseca del polímero y las características del medio de disolución en que se encuentra (Parra, 2010).

3.3 TECNICA DE MICROENCAPSULACION POR EMULSIFICACION

La técnica de encapsulación en emulsión se ha definido como el proceso de dispersión de un líquido en otro líquido inmiscible donde la fase dispersa consta de la matriz que incluye el componente a encapsular. La adición de un tensioactivo mejora la formación y estabilidad de la emulsión, así como la distribución de tamaño de las gotas (Lupo *et al.*, 2012).

En esta técnica, la fase discontinua se añade a un gran volumen de aceite (fase continua). La mezcla se homogeneiza para formar la emulsión de agua en aceite. Una vez que se forme la emulsión, el polímero soluble en agua se insolubiliza formar las partículas dentro de la fase de aceite (Heidebach *et al.*, 2012). En este sentido, la preparación de microcápsulas por emulsificación puede llevarse a cabo empleando el mecanismo de gelificación externa o interna (Lupo *et al.*, 2012).

En la gelificación externa, la sal de calcio soluble es agregada a una emulsión. El tamaño de partícula no puede ser bien controlado y las partículas tienden a coagular en grandes masas antes de adquirir la consistencia apropiada. Además, el tamaño de partícula que se obtiene es grande entre 400 μm y 1 mm (Martín *et al.*, 2009). Es decir consta en la dispersión de una mezcla solución de alginato-componente en una fase continua no acuosa, seguido de la adición de una fuente de calcio que al difundirse a la

fase dispersa inicie la gelificación permitiendo la encapsulación, y a su vez, la desestabilización de la emulsión para la separación de las cápsulas formadas. (Lupo *et al.*, 2012). Por tanto en la gelificación interna se basa en la liberación del ión calcio desde un complejo insoluble en una solución de alginato de sodio. Esto se lleva a cabo por acidificación de un sistema aceite-ácido soluble, con participación en la fase acuosa del alginato. Esta técnica permite obtener partículas de un tamaño de aproximadamente 50 μm . De acuerdo con esta técnica, a la fase acuosa, generalmente formada por alginato y carbonato cálcico, se le adiciona la fase oleosa (Martín *et al.*, 2009).

La liberación del ion calcio ocurre con la adición de un ácido orgánico soluble en la fase continua que al difundirse disminuye el pH del medio solubilizando la sal y produciendo la gelificación. Las técnicas de microencapsulación en emulsión se describen en la siguiente Figura 7 (Champagne y Fustier, 2007).

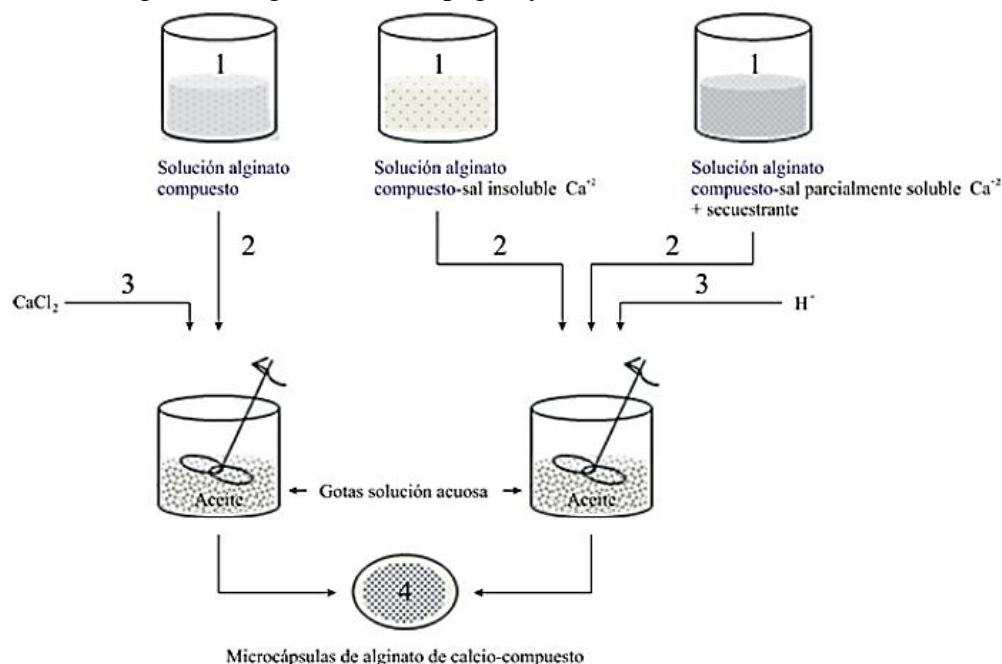


Figura 7. Técnica de microencapsulación por emulsión

Fuente: (Lupo *et al.*, 2012)

3.3.1 Estudios sobre la aplicación en la conservación de alimentos

Las aplicaciones de esta técnica se han ido incrementando debido a la protección de los materiales encapsulados de factores como calor y humedad, permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad. Las microcápsulas, ayudan a que los materiales alimenticios empleados resistan las condiciones de procesamiento y empaque mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia de sus productos (Parra, 2010).

3.3.1.1 Aceites

Los aceites ricos en cadenas poliinsaturadas tienen un efecto positivo en la salud humana, que actúa en la prevención de enfermedades cardiovasculares. Sin embargo, durante el procesamiento, la distribución y la manipulación, estos aceites pueden oxidar fácilmente, debido a su alto grado de insaturación. La oxidación conduce a la formación de sabores y olores desagradables y, por consiguiente, a la reducción de la vida útil del producto, además de promover la generación de radicales libres, que pueden tener efectos fisiológicos negativos en el organismo. La microencapsulación de aceites en una matriz polimérica es una alternativa que ha sido utilizada por varios investigadores a fin de proteger los ácidos grasos insaturados frente a la oxidación de lípidos, aumentando así su vida útil (Tonon *et al.*, 2011).

Según el estudio realizado por Calvo *et al.*, (2011), evaluaron la influencia de la microencapsulación en la composición química, la vida útil del aceite de oliva extra virgen y su estabilidad oxidativa. Evaluaron factores tales como los constituyentes de la pared de la microcápsula y la adición del antioxidante butilhidroxitolueno (BHT)

con la finalidad de establecer las condiciones más adecuadas para asegurar la no alteración de las características químicas del aceite de oliva extra-virgen.

Para el material de microencapsulación Calvo *et al.*, (2011), evaluaron recubrimientos entre esos el caseinato de sodio (proteínas), carboximetilcelulosa y maltodextrina (hidratos de carbono), y miraron su influencia como material de recubrimiento.

El proceso de microencapsulación que realizó Calvo *et al.*, (2011), para el aceite de oliva lo realizaron mediante la formación de una emulsión fina y estable utilizando como surfactante la lecitina, las emulsiones las prepararon a temperatura ambiente usando un homogeneizador, a 10.000 rpm (Fisher Scientific Power-Gen Modelo 1800). Luego liofilizaron a -80°C mediante un liofilizador VIRTIS, Mod. Génesis 25 LL Hucoa-Herlos. Después de realizar este proceso molieron las microcápsulas y las transfirieron a un plástico de doble capa.

Calvo *et.*, (2011) concluyeron luego de realizar su estudio que la presencia de componentes proteicos en el material de recubrimiento extendió la vida útil del aceite de oliva microencapsulado durante 9 a 11 meses. Además sintetizaron que aunque la presencia de BHT aumentó ligeramente la estabilidad del aceite encapsulado, el efecto principal de protección se atribuyó a la presencia de proteínas en los constituyentes de la pared de las microcápsulas.

Por otra parte, un estudio realizado por Ng *et al.*, (2014), evaluaron el efecto del contenido de sólidos de la emulsión de alimentación, las propiedades físicas y estabilidad oxidativa del aceite de semilla de Kenaf microencapsulado, donde este

aceite de Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) tiene una cantidad relativamente alta de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, que son nutricionalmente beneficioso para la salud humana. Para la preparación de las emulsiones y proceso de microencapsulamiento Ng *et al.*, (2014) utilizaron material de recubrimiento (caseinato de sodio, maltodextrina DE10) con una relación núcleo fijo / pared de 1: 3 y una relación proteína / carbohidrato de 1: 9, donde utilizaron como emulsionante la lecitina de soya en una proporción de 0,1: 1 (w / w) con respecto a la proteína, obtuvieron emulsiones con diferentes contenido total de sólidos (20%, 30%, 40% w / w) para el proceso de microencapsulación del aceite de semilla de kenaf.

En este estudio realizado por Ng *et al.*, (2014) concluyeron que la técnica de microencapsulación es efectiva en la mejora de la estabilidad oxidativa de aceite de semilla de kenaf y capaz de prevenir la oxidación del aceite de esta semilla. Además de eso, sintetizaron que una emulsión con menor contenido de sólidos para un proceso como el de secado por aspersión va obtener una tiempo más prolongado resultando una microencapsulación menos eficiente de la emulsión, es decir, que con emulsiones con alto contenido de solidos les produjo mejores resultados ya que retuvieron más aceite y lograron mayores eficiencia en el proceso de microencapsulacion.

Dentro de la bibliografía científica se encontró que Shen *et al.*, (2010), evaluaron la estabilidad oxidativa de aceite de pescado en polvo microencapsulado, estabilizando las mezclas con quitosano, almidón modificado y glucosa. En este estudio utilizaron varios índices de oxidación de lípidos para ellos evaluar la estabilidad oxidativa de la microencapsulacion del aceite de atun en polvo, que fueron a partir de emulsiones de

aceite en agua (pH 4,9 o 6,0) donde contenían quitosano, un almidón emulsionante, y glucosa. En este estudio dedujeron que todos los índices de oxidación, mostraron que los polvos preparados a partir de emulsiones a pH 6,0 eran más estables a la oxidación que las formulaciones correspondientes a pH 4,9. Además concluyeron que el aumento de las interacciones electrostáticas entre el quitosano y el almidón de emulsionante en el pH más alto contribuyó a una mayor estabilidad de los polvos de microcápsulas.

3.3.1.2 Probióticos

La tecnología de encapsulación de células vivas probióticas ha evolucionado a partir de la tecnología de cultivo celular inmovilizado utilizado en la industria biotecnológica. Los probióticos presentan dos inconvenientes al considerar la encapsulación: su tamaño (típicamente entre 1 y 5 μm de diámetro), que excluye inmediatamente nanotecnologías, y el hecho de que deben mantenerse vivos. Este último aspecto ha sido clave en la selección de la tecnología apropiada. Varias tecnologías se pueden aplicar a la encapsulación probiótica y cada uno de ellos proporciona microcápsulas con características diferentes en términos de tamaño gama de partículas y de tipo de cápsula ver figura 8. Por ejemplo, la técnica de emulsificación permite la producción de una amplia gama de tamaño de partícula desde 0,2 hasta 5.000 μm mientras que, extrusión da un tamaño más pequeño rango, pero no proporciona partículas de menos de 300 μm . En la figura 8 se puede observar los diferentes tipos de partículas obtenidas (de tipo matriz o depósito) por cada método (Burgain *et al.*, 2011).

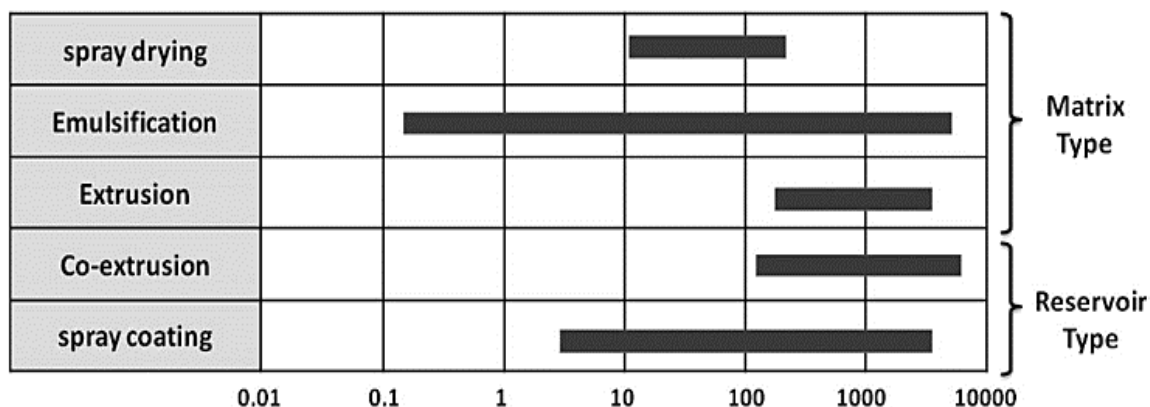


Figura 8. Tecnologías de encapsulación: Rango de cada técnica

Fuente: (Burgain *et al.*, 2011).

La tecnología de emulsificación es una técnica química para encapsular células vivas de probióticos y el uso de hidrocoloides (alginato, carragenina y pectina) como materiales de encapsulación (Figura 9). El principio de esta técnica se basa en la relación entre la fase discontinua y la fase continua. Para la encapsulación en una emulsión, se necesitan un emulsionante y un agente tensioactivo. Un agente solidificante (cloruro de calcio) se añade a la emulsión. Las cápsulas obtenidas tienen un diámetro pequeño, pero la principal desventaja de este método es que proporciona gran rango de tamaño y forma (Burgain *et al.*, 2011). El procedimiento de emulsión permite la producción de microcápsulas el tamaño dirigido por la variación de la velocidad de agitación y la relación agua / aceite. Las perlas de gel se pueden introducir en una segunda solución de polímero para crear una capa de recubrimiento que proporciona una protección adicional a la célula o dar propiedades organolépticas mejoradas (Kailasapathy, 2009).

Como se ve en la figura 9 un pequeño volumen de la suspensión de polímero celular (es decir, la fase discontinua) se añade a un gran volumen de aceite vegetal (es decir,

la fase continua). La mezcla se homogeneiza entonces para formar una emulsión de agua-en-aceite. Una vez formada la emulsión de agua-en-aceite, el polímero soluble en agua debe ser insolubilizado para formar partículas de gel diminutas dentro de la fase de aceite (Burgain *et al.*, 2011).

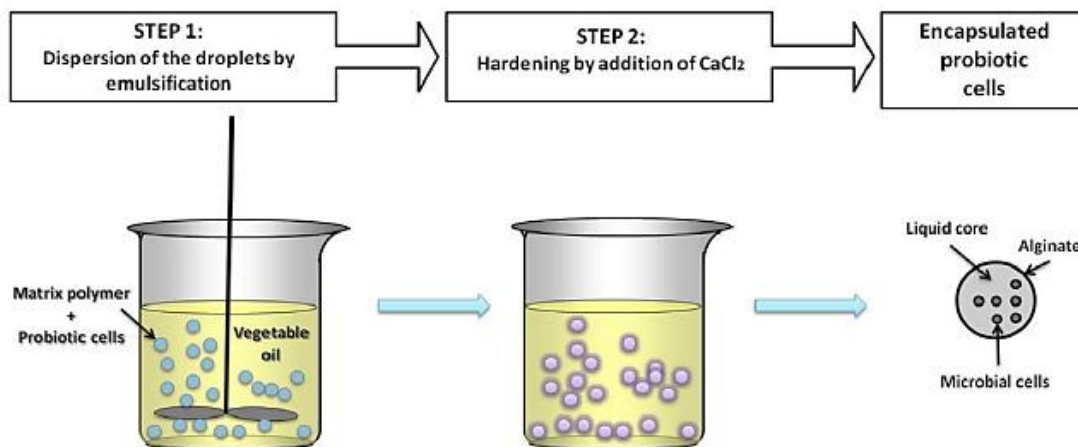


Figura 9. Representación esquemática del procedimiento de emulsificación en probióticos.

Fuente: (Burgain *et al.*, 2011).

Un problema con las tecnologías de encapsulación clásicas es el uso de revestimientos tales alginato, κ -carragenina, goma Xantana que no están permitidos en los productos lácteos en algunos países (Burgain *et al.*, 2011). Un estudio realizado por Heidebach *et al.*, (2009), brindaron una solución que puede ser el uso de proteínas de la leche en los que los probióticos se pueden encapsular por medio de una gelificación enzimática. Donde las proteínas de leche tienen excelentes propiedades de gelificación y son vehículos naturales para los probióticos. Este método da partículas insolubles y

esféricas de agua. Heidebach *et al.*, (2009), detallaron un ejemplo de encapsulación mediante gelificación por cuajo como se muestra en la figura 10:

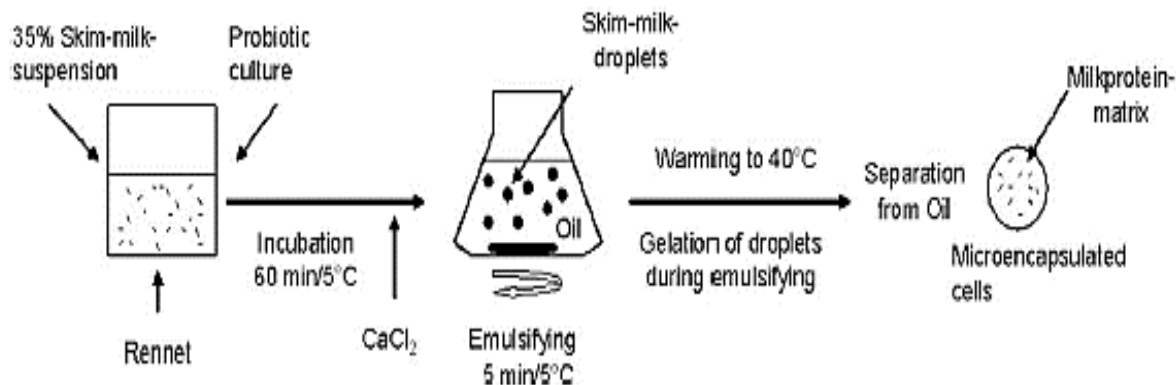


Figura 10. Proceso de microencapsulación desarrollada por medio de gelificación de cuajo inducida.

Fuente: (Heidebach *et al.*, 2009)

Como se observa en la anterior figura de la microencapsulación de células probióticas mediante cuajo-gelificación de proteínas de la leche, el principio de la técnica es la base sobre la utilización de las proteínas lácteas que se han puesto en contacto con el cuajo a baja temperatura. Esto permite mantener un sistema líquido donde κ -caseína se rompe por la enzima. Después de eso, las proteínas lácteas se han emulsionado en un aceite frío para formar emulsión de agua en aceite. Esa inducción térmica de la coagulación enzimática permite floculación de proteínas y proporciona micropartículas donde los probióticos se dispersan en las proteínas de leche coagulada (Burgain *et al.*, 2011). Estas microcápsulas son capaces de encapsular los probióticos, sin pérdida significativa de células durante el proceso de encapsulación. La supervivencia de las células encapsuladas puede explicarse probablemente por un valor

pH local más alta dentro de la matriz de proteína de las cápsulas causadas por la capacidad de amortiguación de proteínas. Se puede proteger a las células durante la incubación en condiciones gástricas simuladas a pH bajo. Además, estas proteínas mejoran la viabilidad para controlar el tamaño de las microcápsulas, que es de gran importancia en relación con el impacto sensorial de las partículas en los productos finales. Por todas estas razones, esta técnica parece ser un enfoque adecuado para una aplicación más eficaz de los probióticos en los alimentos (Martín *et al.*, 2014).

3.3.1.2.1 Estudios de probióticos en alimentos

3.3.1.2.1.1 Quesos

Muchos estudios han informado de la utilización de células probióticas encapsuladas (Tabla 2) (Burgain *et al.*, 2011);

	Probiotic strain	Technology	Materials	References
Fresh	<i>L. bulgaricus</i> <i>S. thermophilus</i>	Extrusion	Ca-alginate	Prevost and Divies (1987)
Cheddar	<i>B. bifidum</i>	Emulsification	κ -Carrageenan	Dinakar and Mistry (1994)
Fresh	<i>L. lactis</i> spp. <i>lactis</i>	Emulsification	κ -Carrageenan	Sodini et al. (1997)
Crescenza	<i>B. bifidum</i> <i>B. infantis</i> <i>B. longum</i>	Freeze drying	Ca-alginate	Gobetti et al. (1998)
Cheddar	<i>L. paracasei</i>	Spray-drying	Skim milk	Gardiner et al. (2002)
Cheddar	<i>L. acidophilus</i> <i>B. infantis</i>	Emulsification	Alginate/starch	Godward and Kailasapathy (2003a)
Feta	<i>L. acidophilus</i> <i>B. lactis</i>		Alginate	Kailasapathy and Masondole (2005)
Kasar	<i>L. acidophilus</i> <i>B. bifidum</i>	Extrusion and emulsification	Alginate	Özer et al. (2008)
White Brined	<i>L. acidophilus</i> <i>B. bifidum</i>	Extrusion and emulsification	Alginate	Özer et al. (2009)

Tabla 2. Ejemplos de probióticos encapsulados y sus aplicaciones en quesos.

Fuente: (Burgain *et al.*, 2011).

Con respecto a estos estudios nos enfocamos en las dos últimas investigaciones de la tabla 2, utilizaron dos cepas de probióticos (*L. acidophilus* y *B. bifidum*) fueron incorporados en el queso Kasar donde usaron las técnicas de extrusión o emulsificación para encapsular las células. Donde en dicho estudio no observaron la diferencia entre las dos técnicas cuando se considera recuentos bacterianos, proteólisis y las propiedades organolépticas del producto final. Concluyeron que puede ser una buena manera para mejorar la viabilidad de los probióticos en el queso Kasar (Özer *et al.*, 2008).

En otro estudio realizado por Özer *et al.*, (2009), estudiaron el mejoramiento en la viabilidad de *Bifidobacterium bifidum* BB-12 y *Lactobacillus acidophilus* LA-5 en el queso blanco en salmuera (white-brined), por microencapsulación, en este estudio monitorearon la viabilidad de microencapsulado *Lb. acidophilus* LA-5 y *Ba. Bifidum* BB-12 en el queso turco-en salmuera. Utilizaron dos técnicas diferentes de microencapsulación, es decir, extrusión y emulsión, examinaron las propiedades microbiológicas, bioquímicas y sensoriales de los quesos (queso control y quesos con células probióticas microencapsuladas) lo controlaron a lo largo de 90 días de almacenamiento a 4 ° C. Concluyeron que el uso de células probióticas en una forma encapsulada mejora la viabilidad de los quesos y según las evaluaciones sensoriales, sintetizaron que la microencapsulación no afectó negativamente a la apariencia y color, textura y aceptabilidad global de los quesos experimentales. Encontraron que los quesos modelo no son diferente del queso testigo, a excepción de los atributos de aroma y sabor. Teniendo en cuenta los recuentos totales de bacterias probióticas en el producto

final concluyeron que los quesos que contienen células probióticas microencapsulados pueden ser considerados como probióticos.

3.3.1.2.1.2 Yogurt

Muchos autores utilizaron células encapsuladas probióticas para incorporar en los yogures, (Tabla 3). Los estudios han demostrado que el uso de bacterias probióticas encapsuladas era mejor para su supervivencia. Además, la incorporación de células probióticas en yogures podría llevarse a cabo sin hacer muchas modificaciones del proceso tradicional (Kailasapathy, 2009).

Probiotic strain	ME technology	Materials	References
<i>L. casei</i>	Extrusion		Lacroix et al. (1990)
<i>B. infantis</i>	Extrusion	Gellan/xanthan gum	Sun and Griffiths (2000)
<i>B. longum</i>	Emulsification	κ -Carrageenan	Adhikari et al. (2000)
<i>L. acidophilus</i>	Emulsification	Alginate-starch	Sultana et al. (2000)
<i>B. adolescentis</i>	Emulsification	Alginate	Truelstrup-Hansen et al. (2002)
<i>B. longum</i>	Emulsification	κ -Carrageenan	Adhikari et al. (2003)
<i>L. acidophilus</i>	Emulsification	Alginate/starch	Godward and Kailasapathy (2003c)
<i>B. infantis</i>			
<i>B. breve</i>	Emulsification	Milk fat and whey protein	Picot and Lacroix (2004)
<i>B. longum</i>	Spray-drying		
<i>L. acidophilus</i>	Extrusion	Ca-alginate	Krasaekoopt et al. (2004)
<i>L. acidophilus</i>	Extrusion	Rafilose, rafiline and starch	Anjani et al. (2004)
<i>B. infantis</i>			
<i>L. acidophilus</i>	Extrusion	Ca-alginate Chitosan	Iyer and Kailasapathy (2005)
<i>L. acidophilus</i>	Emulsification	Alginate	Capela et al. (2006)
<i>L. casei</i>			
<i>L. rhamnosus</i>			
<i>B. infantis</i>			
<i>L. acidophilus</i>	Emulsification	Alginate/starch	Kailasapathy (2006)
<i>B. lactis</i>			
<i>L. acidophilus</i>	Extrusion	Alginate-chitosan	Krasaekoopt et al. (2006)
<i>B. bifidum</i>			
<i>L. casei</i>			
<i>L. acidophilus</i>	Spray-drying	Maltodextrin/gum arabic	Su et al. (2007)
<i>B. longum</i>			
<i>L. acidophilus</i>	Extrusion	Alginate-chitosan	Urbanska et al. (2007)
<i>L. acidophilus</i>	Extrusion		Kailasapathy et al. (2008)
<i>B. lactis</i>			
<i>L. acidophilus</i>	Extrusion		Mortazavian et al. (2008)
<i>B. lactis</i>			
<i>L. casei</i>	Extrusion	Alginate/pectin	Sandoval-Castilla et al. (2010)

Tabla 3. Ejemplos de probióticos encapsulados y sus aplicaciones en yogurt.

Fuente: (Burgain *et al.*, 2011).

Kailasapathy (2006) evaluó la supervivencia de las bacterias probióticas libres y encapsuladas y su efecto sobre las propiedades sensoriales de yogur, las bacterias probióticas (*Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium lactis*) fueron encapsulados usando un polímero de alginato de calcio inducido, y evaluó el efecto sobre el pH, la producción de exopolisacáridos y la influencia en los atributos sensoriales de yogur donde lo estudio por más de 7 semanas de almacenamiento. Concluyo con respecto a la acidez que la adición de cultivos probióticos, ya sea en las formas libres o encapsulados tienden a ralentizar la post-acidificación durante el almacenamiento de yogur. Además sintetizo que la producción de exopolisacáridos (EPS), el encapsulante (alginato sódico) y el material de relleno (almidón) para los cultivos probióticos ayudaron a reforzar el gel del yogur. En cuanto a los atributos sensoriales explico que la adición de las cápsulas probióticas no alteró significativamente la apariencia y color, acidez, sabor de los yogures, sin embargo, comentó que altero de manera significativa las propiedades de textura (suavidad) de yogures, ya que los panelistas informaron una sensación de arenilla en los yogures con cultivos probióticos encapsulados.

3.3.1.2.1.3 Postre lácteo congelado

No es fácil de incorporar microorganismos probióticos en postres congelados debido a la alta acidez en el producto, de la alta presión osmótica, y la exposición al aire incorporado durante la congelación. La incorporación de bacterias probióticas en una forma encapsulada en postres congelados (Tabla 4) puede superar estas dificultades y podría producir mercados útiles y beneficios para la salud (Burgain *et al.*, 2011).

Probiotic strain	ME technology	Materials	References
<i>L. bulgaricus</i>	Emulsification	Alginate	Sheu and Marshall (1993)
<i>L. casei</i> <i>B. lactis</i>	Emulsification	Alginate	Sheu et al. (1993)
<i>L. acidophilus</i> <i>B. infantis</i>	Emulsification	Alginate/starch	Godward and Kailasapathy (2003b)
<i>L. acidophilus</i> <i>B. lactis</i>	Emulsification		Kailasapathy and Sultana (2003)
<i>L. casei</i> <i>B. lactis</i>	Emulsification	Ca-alginate	Homayouni et al. (2008)

Tabla 4. Ejemplos de probióticos encapsulados y sus aplicaciones en postres congelados.

Fuente: (Burgain *et al.*, 2011).

Homayouni *et al.*, (2008), evaluaron la viabilidad de incorporar el almidón resistente en recubrimiento de perlas y en la formulación de helado y además la supervivencia de los cultivos microencapsulados y libres en el helado en un período de 180 días de almacenamiento a -20 °C donde analizaron las propiedades sensoriales de este postre congelado. Fabricaron dos tipos de helado simbiótico donde contenían 1% de almidón resistente en uno encapsularon *Lactobacillus casei* (Lc-01) y *Bifidobacterium lactis* (Bb-12) y otro libre. Utilizaron esferas de alginato como material de microencapsulación, el helado simbiótico se produjo inmediatamente después de la adición de probióticos a la mezcla, Con respecto a la calidad sensorial del producto comentado por Homayouni *et al.*, (2008) concluyeron que los puntos asignados para el color, cuerpo-textura y sabor mostraron que la adición de probióticos libres y encapsulados no tuvo ningún efecto sobre las propiedades sensoriales de helado fermentado no simbiótico además comentaron que ninguno de los helados fueron juzgados para ser quebradiza, débil, suave y esponjosa o arena. Con respecto al recubrimiento sintetizaron que el alto índice de almidón sólido encontrado en los helados, agregado como prebiótico, proporcionaron una mayor protección de los

probióticos en este caso. Además en este estudio Homayouni *et al.*, (2008), concluyeron que el número de células probióticas viables fue de entre 108 y 109 UFC / g después de tres meses de almacenamiento, mientras que la Federación Internacional de Lechería (IDF) recomienda un número viable de 107 UFC / g en producto alimenticio en el momento de consumo.

Otro estudio realizado por Caicedo, (2010), donde evaluó la influencia de la encapsulación en la viabilidad del *Lactobacillus acidophilus* en helado, utilizando dos técnicas de microencapsulación: extrusión y emulsión, escogió el alginato de sodio como material de soporte, debido al ambiente gentil que provee al material encapsulante, al bajo costo, simplicidad y compatibilidad con el microorganismo.

La metodología para el encapsulamiento que utilizo Caicedo, (2010), se muestra en la figura 11:

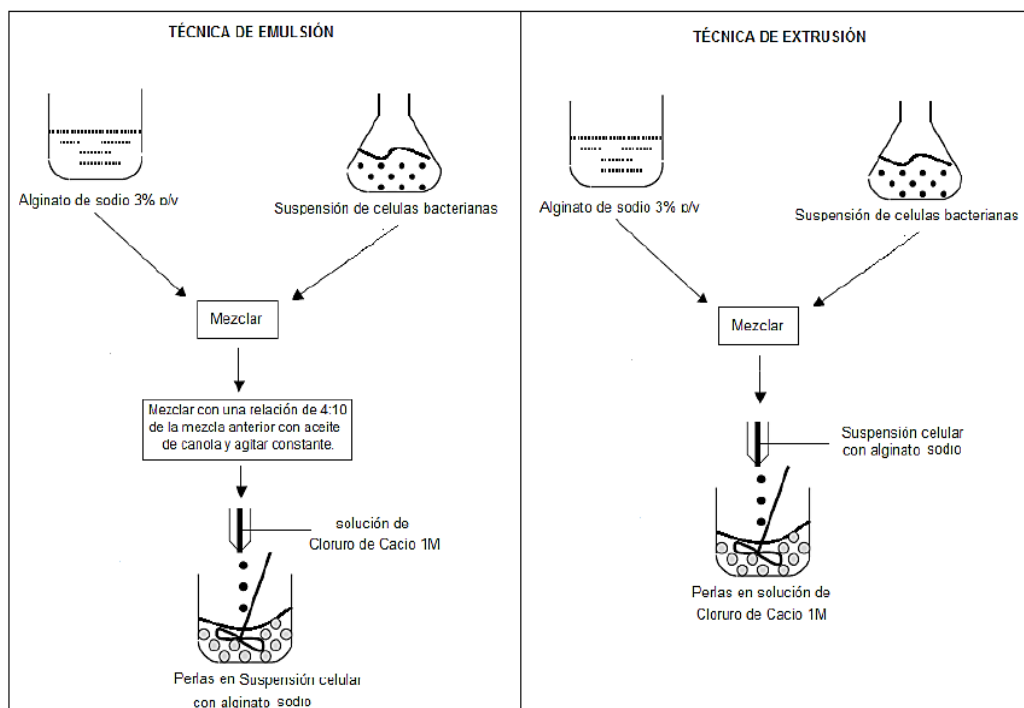


Figura 11. Metodología de encapsulamiento.

Fuente: (Caicedo, 2010).

Determino la cantidad de encapsulados en el helado basándose en la normatividad colombiana para este tipo de producto lácteo, (NTC 1239:2002), la cual dice que en la fabricación se permiten los agregados alimenticios destinados a conferir textura al producto final y que cuando se presente en combinación con otros ingredientes alimenticios, el helado debe ser el componente principal en un cantidad mínima del 50% en volumen. En cuanto a la elaboración del producto Caicedo, (2010), elaboro una mezcla de 12 Kg con probioticos encapsulados donde los dividió en tres grupos iguales (A,B y C). En este sentido además los encapsulados en 2 tiempos diferentes para A y B (antes de la maduración y después de las maduración respectivamente. Y el grupo C para la muestra control, como lo represento en la siguiente figura 12:

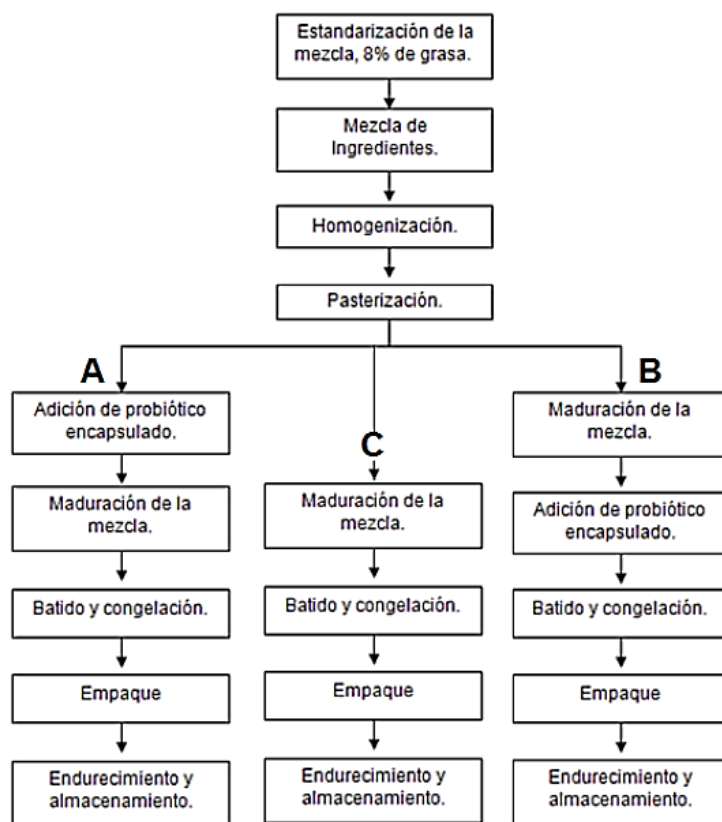


Figura 12. Elaboración de helado con encapsulados probioticos

Fuente: (Caicedo, 2010).

Para la evaluación sensorial aplicó una prueba afectiva con el producto que contenía el mayor número de células viables probióticas después de tres semanas de almacenamiento, utilizo el siguiente formato, ver figura 13.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA PROGRAMA INTERFACULTADES ESPECIALIZACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS					
Evaluación con consumidores					
Fecha: _____		Sexo: <input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/>			
Edad:		1-14 <input type="checkbox"/>	15-20 <input type="checkbox"/>	21-30 <input type="checkbox"/>	
		31-40 <input type="checkbox"/>	41-50 <input type="checkbox"/>	>50 <input type="checkbox"/>	
Con qué frecuencia consume helado?					
Diario <input type="checkbox"/>		Semanal <input type="checkbox"/>		Mensual <input type="checkbox"/>	
Casi nunca <input type="checkbox"/>					
MUESTRA # _____					
ATRIBUTO		CALIFICACIÓN			
APARIENCIA	me gusta <input type="checkbox"/>	indiferente <input type="checkbox"/>	no me gusta <input type="checkbox"/>		
COLOR	me gusta <input type="checkbox"/>	indiferente <input type="checkbox"/>	no me gusta <input type="checkbox"/>		
AROMA	me gusta <input type="checkbox"/>	indiferente <input type="checkbox"/>	no me gusta <input type="checkbox"/>		
SABOR	me gusta <input type="checkbox"/>	indiferente <input type="checkbox"/>	no me gusta <input type="checkbox"/>		
TEXTURA	me gusta <input type="checkbox"/>	indiferente <input type="checkbox"/>	no me gusta <input type="checkbox"/>		
OBSERVACIONES					
MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN					

Figura 13. Formato de evaluación sensorial.

Fuente: (Caicedo, 2010).

Para esta prueba afectiva realizada Caicedo, 2010, Participaron 51 personas, obtuvo los siguientes resultados ver figura 14:

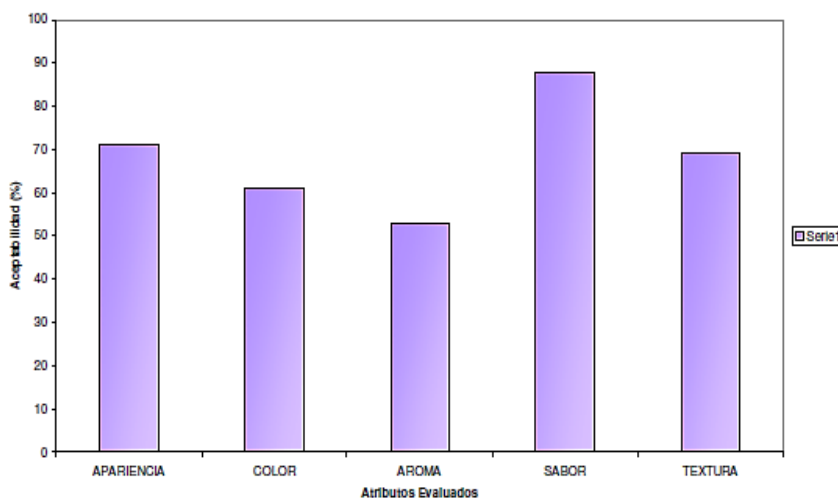


Figura 14. Aceptabilidad de helado con probioticos encapsulados.

Fuente: (Caicedo, 2010).

Caicedo, (2010), concluyo en este estudio con respecto a las propiedades sensoriales los resultados mostraron que todos los atributos obtuvieron valores superiores al cincuenta por ciento de aceptabilidad, indicando que el producto fue aceptado por los consumidores, aun cuando la textura era granulosa debido a la presencia de los encapsulados. Además comento que los atributos con menos aceptación fueron el color y aroma donde se relacionan más con una costumbre comercial, donde el alimento presenta un aroma descriptible y colores más atractivos.

Además Caicedo, (2010), sintetizo en cuanto a la influencia de la encapsulación en la viabilidad del *Lactobacillus acidophilus* en un helado de crema sin sabor específico encontró que para seis semanas de almacenamiento las bacterias probióticas sobreviven a las condiciones y se mantienen en un valor aceptable. En cuanto a los dos puntos de inoculación comento que la mejor etapa para la inoculación de probioticos encapsulados fue antes de la maduración y dentro de las dos técnicas que utilizo la

técnica de extrusión o goteo fue la que le arrojó mejores resultados en el proceso de encapsulación de probióticos.

3.3.1.2.1.4 Otros productos alimenticios

Varios factores pueden afectar el crecimiento y la supervivencia de probióticos en algunos productos, tales como la concentración de las proteínas, el azúcar y la grasa, y los niveles de pH. La mayoría de los productos que contienen células probióticas son los productos lácteos y es necesario desarrollar otros portadores alimenticios para los probióticos, debido a la intolerancia a la lactosa en ciertas poblaciones (Ranadheera *et al.*, 2010). Se han hecho esfuerzos para identificar nuevos portadores de alimentos (Tabla 5) (Burgain *et al.*, 2011).

	Probiotic strain	ME technology	Materials	References
Cream	<i>L. lactis</i>	Extrusion	Ca-alginate	Prevost and Divies (1992)
Mayonnaise	<i>B. bifidum</i> <i>B. infantis</i>	Emulsification	Alginate	Khalil and Mansour (1998)
Dry beverage	<i>Bifidobacterium</i> PL1	Spray-drying	Starch	O'Riordan <i>et al.</i> (2001)
Banana	<i>L. acidophilus</i>	Extrusion	κ -Carrageenan	Tsen <i>et al.</i> (2004)
Soft foods	<i>B. lactis</i>	Extrusion	Gellan/xanthan gum	McMaster <i>et al.</i> (2005)
Tomato juice	<i>L. acidophilus</i>	Extrusion	Ca-alginate	An-Erl King <i>et al.</i> (2007)
Sausages	<i>L. reuteri</i>	Emulsion	Alginate	Muthukumarasamy and Holley (2006)
Sausages	<i>L. reuteri</i> <i>B. Longum</i>	Extrusion	Alginate	Muthukumarasamy and Holley (2007)
Biscuits	<i>L. rhamnosus</i>	Extrusion	Whey protein	Ainsley Reid <i>et al.</i> (2007)
Cranberry and vegetable juices				
Orange and apple juices	<i>L. rhamnosus</i> <i>L. salivarius</i> <i>B. longum</i> <i>L. plantarum</i> <i>L. acidophilus</i> <i>L. paracasei</i> <i>B. lactis</i>	Emulsification		Ding and Shah (2008)
Chocolate	<i>L. helveticus</i> <i>B. longum</i>	Spray-coating	Fatty acids	Maillard and Landuyt (2008)
Swine feeding	LAB	Extrusion	Ca-alginate	Ross <i>et al.</i> (2008)
Tomato Juice	<i>L. acidophilus</i>	Extrusion		Tsen <i>et al.</i> (2008)
Chocolate	<i>L. helveticus</i> <i>B. longum</i>	Spray-coating		Possemiers <i>et al.</i> (2010)

Tabla 5. Ejemplos de probióticos encapsulados y sus aplicaciones en varios sistemas alimenticios.

Fuente: (Burgain *et al.*, 2011).

3.3.1.3 Otros estudios recientes en productos alimenticios

- **Quesos**

En un estudio realizado por Mahamad *et al.*, (2014), tuvo como objetivo evaluar el efecto de microencapsulación (ME) en perlas de alginato sobre la viabilidad de *Bifidobacterium longum* 15.708 en términos de su tolerancia a la congelación, el almacenamiento en estado congelado, la fabricación de queso cheddar y almacenamiento durante 21 días , así como una simulación gastro-intestinal, donde compararon el efecto dos técnicas (ME) el método de extrusión y emulsificación, usando dos polímeros alginato (NA) y palmitoilado de alginato (PA). Los resultados de estudio realizado por Mahamad *et al.*, (2014), mostraron que la técnica de extrusión mantuvo más alta viabilidad de *B. longum* después de 24 h de congelación a -80°C sin la pérdida de viabilidad en comparación con el proceso de emulsión y las células no inmovilizadas perdió unidades formadores de colonias aproximadamente 0,8 y 1,5 log / ml respectivamente. Sin embargo, analizaron que durante un período de almacenamiento de 4 semanas a -80°C, no observaron diferencias significativas ($P > 0,05$) en la supervivencia de células libre o inmovilizada *B. longum*, sin la pérdida de viabilidad. El Queso Cheddar que suplementaron con colonias de *B. longum* lo prepararon y analizaron durante el almacenamiento a 4 ° C. Después de 21 días de almacenamiento, el queso Cheddar con *B. longum* encapsulado con los polímeros de alginato (NA) y palmitoilado de alginato (PA) producidos con el proceso de emulsión mostraron una buena supervivencia con 2 log CFU / ml mostrando una reducción después de 21 días, en comparación con el método de extrusión por goteo de *B. longum*

encapsulado y células libres con UFC 3 y 4 log / reducciones mL respectivamente. También concluyeron Mahamad *et al.*, (2014), que las bacterias inmovilizadas en ambos polímeros mostraron una mayor resistencia que las células libres a entornos gástricos e intestinales.

- **Yogurt**

Un estudio realizado por González *et al.*, (2014), estudiaron la influencia de la microencapsulación de *Lactobacillus acidophilus* empleando un sistema gelificante binario compuesto por gelatina y alginato, en la obtención de yogures blandos, donde evaluaron los parámetros fisicoquímicos y reológicos después del proceso de incubación. El proceso de microencapsulación lo realizaron a través del proceso de gelificación iónica interna; esta técnica se basa en la formación de una emulsión agua/aceite. La fase acuosa lo prepararon con 1 mL de la suspensión celular (109 cel/mL de *Lactobacillus acidophilus*) con 99 mL de la dispersión de alginato y gelatina (en una proporción 50/50 p/p previa esterilización en autoclave a 121°C durante 15 min). La elaboración del yogurt por González *et al.*, (2014), lo realizaron tratando térmicamente la leche donde fue enfriada a 37°C la cual lo dividieron en dos lotes, luego adicionaron la misma cantidad de *Lactobacillus acidophilus* (109 UFC/mL) en estado libre y microencapsulado a cada lote en condiciones de asepsia. Finalmente ambos lotes lo sometieron a un proceso de incubación durante 7 horas. Obteniendo ellos de esta manera los dos tipos de yogurt: yogurt con el microorganismo en estado libre (YML) y con el microorganismo microencapsulado (YMM). Las propiedades fisicoquímicas que evaluaron fue proteína, grasa, cenizas, lactosa, humedad y pH, con respecto al

estudio reológico de los yogures utilizaron la geometría de placa paralela (PP20) de 20 mm de diámetro y un gap de 3 mm para determinar la viscoelasticidad lineal en función de la frecuencia. Además realizaron un estudio sensorial de los yogures después de la etapa de la incubación realizada por 30 jueces no entrenados, evaluaron color, sabor, consistencia y aceptabilidad global basándose en una escala hedónica de 10 puntos (1, me disgusta extremadamente; 10 me gusta extremadamente).

González *et al.*, (2014), concluyeron con respecto a los análisis fisicoquímicos, fue que los cambios en los valores de lactosa, grasa y proteína sugirieron un mayor crecimiento por parte de *Lactobacillus acidophilus* microencapsulado, lo cual se evidencio con el mayor número de células bacterianas obtenidas al final del proceso de incubación y como consecuencia del efecto protector que ejercen las microcápsulas contra la acidez presente en el yogurt. Mientras en el aspecto reológico, los yogures elaborados con *L. acidophilus* microencapsulado y en estado libre, se apreció que ambos yogures mostraron un comportamiento no newtoniano tipo reofluidificante donde el proceso de microencapsulación de *L. acidophilus* utilizando mezclas de polisacáridos aniónicos (goma gelana y alginato) incremento desde un punto de vista reológico la consistencia del yogurt. Finalmente González *et al.*, (2014) concluyo con respecto a la evaluación sensorial que no encontraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) en los atributos evaluados entre los YMM y lo YML. Por tal motivo, la microencapsulación bacteriana puede ser una técnica interesante para llevar a cabo la inclusión de bacterias probióticas en sistemas alimentarios ácidos, obteniendo elevadas viabilidades sin

ocasionar grandes cambios en la apreciación sensorial del producto alimenticio, (González *et al.*, 2014).

3.4 TENDENCIAS FUTURAS

La microencapsulación es recomendada para aplicaciones en la industria alimenticia; se ha observado en los últimos años un incremento significativo en esta industria. Esta técnica desempeñará un papel importante en un futuro muy cercano; es por lo anterior que algunas compañías e institutos investigadores están buscando nuevos ingredientes con posibles beneficios saludables. Ingredientes fitoquímicos, ingredientes derivados de la madera como fitoesteroles, pro y prebióticos, nuevos tipos de carotenoides, minerales traza y polifenoles, son ejemplos de algunos compuestos. Muchos de estos ingredientes podrían estar disponibles en una forma purificada dentro de los siguientes 10 años, esto posibilitará mejorar los procesos de encapsulación. Añadiéndose a estos sistemas de purificación, se requerirán innovaciones tecnológicas y con ellos nuevos métodos. La microencapsulación ciertamente podría desempeñar un papel importante en estos procesos, aunque estos se harán más expansivos para ser utilizados y biodisponibles y siempre podrían ser considerados seguros (Parra, 2010).

La microencapsulación tiene que enfrentar muchos desafíos para su aplicación a escala industrial. Por un lado, los retos tecnológicos para obtener microcápsulas con mejores propiedades debe optimizada. Por otro lado, el comportamiento del consumidor hacia los nuevos alimentos debe tenerse en cuenta. La microencapsulación puede lograr una amplia variedad de funcionalidades de acuerdo con el desarrollo de la tecnología y hoy en día, las células probióticas encapsuladas pueden incorporarse en muchos tipos de

productos alimenticios. De hecho, los probióticos pueden encontrarse no sólo en los productos lácteos, pero también en el chocolate o cereales también. Un reto importante para la encapsulación probiótico es reducir el tamaño de partícula, ya que puede afectar negativamente a la textura y las propiedades sensoriales del producto. En aplicaciones de laboratorio, el método elegido es generalmente la técnica de emulsificación pero esta técnica presenta inconvenientes para aplicaciones de alimentos por muchas razones. La presencia de aceite residual en la superficie de la cápsula es perjudicial para la textura y las propiedades organolépticas del producto, y este residuo de aceite, surfactante o emulsionante puede ser tóxico para las células probióticas, (Burgain *et al.*, 2011).

4. CONCLUSIONES

Las tendencias actuales están encaminadas a la conservación de alimentos para de esta manera proteger sabores, aromas, la vida útil de los productos. De esta manera la microencapsulación es perfilada como una alternativa para ella, la elección del tipo de técnica, materiales de recubrimiento nos garantizan resultados positivos en función de los materiales que vamos a encapsular.

La microencapsulación por emulsificación es una opción para conservar sabores, mantener la estabilidad, viabilidad de productos como aceites ricos en poliinsaturación de fácil oxidación, la utilización de microorganismos probióticos para aumentar la funcionalidad de estas sustancias en el producto, como quesos, yogures, postres lácteos congelado como por ejemplo el helado y otros productos como mayonesas cremas, etc. Los estudios demuestran por una parte los buenos resultados de esta técnica pero factores como los sensoriales se ven un poco afectados con respecto a la granulosis de algunos productos.

Por medio de este análisis de teorías e investigaciones de esta técnica contribuye a producir alimentos funcionales, protegidos, alargando la vida útil de los productos analizados y constituye una apuesta aun mayor para futuras investigaciones.

5. BIBLIOGRAFIA

- 1.** Aranberri I., Binks B.P., Clint J.H., Fletcher P.D.I.. (2006). Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensioactivos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, volumen 7(3).
- 2.** Burgain, J., Gaiani, C., Linder, M., & Scher, J. (2011). Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. *Journal of Food Engineering*, 104, 467–483.
- 3.** Caicedo, Y. (2010). Estudio de la viabilidad de la incorporación de bacterias probióticas micro encapsuladas en helados. Tesis para especialización en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad nacional. Bogotá, Colombia.
- 4.** Calvo, P., Castaño, Á., Lozano, M., González-Gómez., D. (2012). Influence of the microencapsulation on the quality parameters and shelf-life of extra-virgin olive oil encapsulated in the presence of BHT and different capsule wall components. *Food Research International* 45, 256–261.
- 5.** Castañeta, H., Gemio, R., Yapu, W., Nogales, J. (2011). Microencapsulacion, un método para la conservación de propiedades fisicoquímicas y biológicas de sustancias químicas. *Revista boliviana de química*. 28: (2).

6. Champagne, C., Fustier, P., (2007). Microencapsulation for delivery of probiotics and other ingredients in functional dairy products. In: Saarela, M. (Ed.), *Functional Dairy Products*, second ed. Woodhead Publishing Ltd., Boca Raton, 404–426.
7. da costa, S., Duarte, C., Bourbon, A., Pinheiro, A., Serra, A., Martins, M., Nunes, M., Vicente, A., Delgadilo, I., Duarte, C., da costa, M. (2011). Effect of the matrix system in the delivery and in vitro bioactivity of microencapsulated Oregano essential oil. *Journal of Food Engineering* 110, 190–199.
8. García-Ceja, A., López-Malo, A. (2012). Biopolímeros utilizados en la encapsulación. Universidad de las américas Puebla, México. *Temas selectos de ingeniería de alimentos* (6-1): 84-97.
9. González, R.E., Pérez, J., Urbina, N, A., (2014). Efecto de la Microencapsulación sobre las Propiedades Reológicas y Fisicoquímicas del Yogurt Blando. Colombia. *Información Tecnológica*, doi: 10.4067/S0718-07642014000600007, 25:(6), 45-56.
10. Hasenhuettl, G., Hartel, R. (2008). *Food Emulsifiers and Their Applications*. Book, second edition. DOI: 10.1007/978-0-387-75284-6
11. Heidebach, T., Först, P., & Kulozik, U. (2009). Microencapsulation of probiotic cells by means of rennet-gelation of milk proteins. *Food Hydrocolloids*, 23, 1670–1677.

12. Heidebach, T., Först, P., & Kulozik, U. (2012). Microencapsulation of probiotic cells for food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52, 291–311.
13. Hernández, P., (2011). Encapsulación de aceite esencial de clavo para su aplicación en la industria alimentaria. Tesis doctoral. Universidad católica. San Antonio, Murcia, España. (276).
14. Homayouni, A., Azizi, A., Ehsani, M.R., Yarmand, M.S., Razavi, S.H., (2008). Effect of microencapsulation and resistant starch on the probiotic survival and sensory properties of synbiotic ice cream. *Food Chemistry* 111 (1), 50–55.
15. Kailasapathy, K., (2006). Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *LWT – Food Science and Technology* 39 (10), 1221–1227.
16. Kailasapathy, K., (2009). Encapsulation technologies for functional foods and nutraceutical product development. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 4 (6).
17. Lupo, B., González, C., Maestro, A. (2012). Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 3 (1): 130-151.

18. Mahamad, K., Champagne, C., Raymond Y, St-Gelais, D., Britten, M., Fustier, P., Salmieri, S., Lacroix, M. (2014). Survival of microencapsulated *Bifidobacterium longum* in Cheddar cheese during production and storage. *Food Control* 37, 193-199.
19. Martín, MJ., Morales, M.E, Gallardo, V., Ruiz, M.A. (2009). Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. *Ars Pharm*, 50:1, 43-50.
20. Martín, M., Lara-Villoslada, F., Ruiz, M., Morales., M. (2014). Microencapsulation of bacteria: A review of different technologies and their impact on the probiotic effects. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 27, 15–25.
21. Özer, B., Uzun, Y.S., Kirmaci, H.A., (2008). Effect of microencapsulation on viability of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium bifidum* BB-12 during Kasar cheese ripening. *International Journal of Dairy Technology* 61 (3), 237–244.
22. Özer, B., Kirmaci, H.A., Senel, E., Atamer, M., Hayaloglu, A., (2009). Improving the viability of *Bifidobacterium bifidum* BB-12 and *Lactobacillus acidophilus* LA-5 in white-brined cheese by microencapsulation. *International Dairy Journal* 19 (1), 22–29.

- 23.** Parra, H. R.A., (2010). Food Microencapsulation: A Review. Revista facultad nacional de agronomía. Colombia. 63(2):5669-5684.
- 24.** Pérez, L., Bueno, G., Brizuela, M., Tortoló, K., Gastón, C. (2013). Microencapsulación: una vía de protección para microorganismos probióticos. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal 47: (1) 14-25.
- 25.** Ramírez, M.A. (2008). Desarrollo de un aderezo elaborado con base en aceite de aguacate y estudio de sus propiedades fisicoquímicas y Reológicas. Tesis profesional. Puebla, México.
- 26.** Ranadheera, R.D.C.S., Baines, S.K., Adams, M.C., (2010). Importance of food in probiotic efficacy. Food Research International 43 (1), 1–7.
- 27.** Santos, D.O. (2014). Uso de la microencapsulación como mecanismo para la protección de probióticos. Trabajo recepcional de monografía. Universidad veracruzana. México
- 28.** Saravanan, M., Rao, K. (2010). Pectin–gelatin and alginate–gelatin complex coacervation for controlled drug delivery: Influence of anionic polysaccharides and drugs being encapsulated on physicochemical properties of microcapsules. Carbohydrate Polymers 80, 808–816.

- 29.** Shen, Z., Augustin, M., Sanguansri, L., Cheng, L. (2010). Oxidative Stability of Microencapsulated Fish Oil Powders Stabilized by Blends of Chitosan, Modified Starch, and Glucose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58, 4487–4493.
- 30.** Shi, L. E., Li, Z. -H., Li, D. -T., Xu, M., Chen, H. -Y., Zhang, Z. -L., et al. (2013). Encapsulation of probiotic *Lactobacillus bulgaricus* in alginate–milk microspheres and evaluation of the survival in simulated gastrointestinal conditions. *Journal of Food Engineering*, 117, 99–104.
- 31.** Ng, S.K., Choong, Y.H., Tan., C.P., Long, K., Nyam, K.L. (2014). Effect of total solids content in feed emulsion on the physical properties and oxidative stability of microencapsulated kenaf seed oil. *LWT - Food Science and Technology* 58, 627-632.
- 32.** Tonon, R., Grosso, C., Hubinger, M., (2011). Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. *Food Research International* 44 , 282–289.
- 33.** Vilanova, N. (2009). Microcápsulas de sílice preparadas a partir de sistemas tensioactivos para la liberación de sustancias activas. Master experimental en química. Universitat de Barcelona.